

**SYSTEME D'EXOSQUELETTE POUR SEGMENT BIOLOGIQUE A
MOUVEMENT PROPORTIONNEL ET ASSEMBLAGE
EXOSQUELETTIQUE DE TELS SYSTEMES**

La présente invention concerne le domaine technique de l'assistance en soutien
5 et motricité de segments biologiques en particulier d'un membre d'une personne par
l'intermédiaire d'un dispositif appelé exosquelette.

D'une manière classique, un système exosquelettique de membre telle une
orthèse, assiste le membre biologique d'un utilisateur en le délestant partiellement
voire complètement de son propre poids et des efforts qu'il exerce. Un exosquelette
10 de membre permet de suppléer à une déficience de mobilité du membre ou bien d'en
amplifier les performances.

Dans l'état de la technique, il a été proposé diverses réalisations de systèmes
d'exosquelette. Par exemple, le brevet US 3 358 678 décrit un dispositif
exosquelettique destiné à être enfilé tel qu'un vêtement, par l'utilisateur. Un tel
15 dispositif est piloté par des séquences préprogrammées pour maintenir la personne
dans une position droite stable. Il s'avère difficile en pratique, voire impossible, pour
une personne handicapée de s'équiper d'une telle structure exosquelettique qui
présente un caractère fermé. De plus, un tel dispositif permet uniquement un
maintien stable d'une personne de sorte qu'un tel dispositif ne permet pas d'assister
20 les membres de la personne en fonction de sa volonté de mouvement.

Le brevet US 2003 11 59 54 décrit une structure exosquelettique dont le champ
d'application est limité aux tests et aux exercices destinés aux membres supérieurs.
La structure exosquelettique est dotée d'un dispositif d'actionnement mécanique du
type à contrepoids. Un tel dispositif présente un encombrement et une masse qui
25 imposent à l'ensemble un caractère stationnaire, justifiant par la même la limitation
du champ d'application. Par ailleurs, l'utilisation de contrepoids réalisant par
définition des efforts à couple constant ne permet pas l'exécution de mouvements
naturels.

Le brevet WO/95 32 842 décrit un appareillage externe destiné à être attaché à
30 un membre sur les segments duquel il exercera des couples. Un tel dispositif ne
comportant pas, dans sa définition, de structure porteuse (par exemple sur le buste ou
le bassin) par rapport à laquelle les couples s'exercent sur le membre, il ne peut donc
pas être appliqué à des mouvements tels que l'abduction du bras par exemple.

Le brevet JP 2002 346 960 décrit un système mécanique figé et précis comportant un nombre déterminé de segments et d'articulations empêchant par la même l'adaptabilité à une application ou une pathologie particulière. Le processeur pilotant la motricité de ce système ne tient pas compte de paramètres propres à l'utilisateur et à son champ d'activités mais utilise comme seules informations, des valeurs pré-définies variant en fonction des positions angulaires et des signaux de force. Un tel système présente donc des aléas de précision dans la gestion de la vitesse et de la force puisque ces paramètres varient d'un utilisateur à l'autre.

Le brevet US 3 449 769 décrit un système d'exosquelette comportant une structure porteuse exosquelettique équipée de moyens d'adaptation sur la personne et composée d'une structure de référence supportant une série de segments mécaniques reliés entre eux et à la structure de référence, par l'intermédiaire d'articulations mécaniques. Un tel système d'exosquelette comporte également des capteurs d'acquisition des mouvements des segments biologiques et des capteurs d'acquisition de la position spatiale des segments mécaniques. De tels capteurs sont reliés en entrée, à des moyens de commande qui sont reliés en sortie, à des moteurs fluidiques pilotés en tout ou rien pour assurer le déplacement des segments mécaniques. Il ressort qu'un tel système d'exosquelette ne permet pas de reproduire les mouvements naturels des membres et soumet ainsi les articulations biologiques à des contraintes néfastes. De plus, les mouvements du système d'exosquelette ne peuvent pas être adaptés à la pathologie de l'utilisateur ni même à la volonté de mouvement de l'utilisateur.

La présente invention vise donc à remédier aux inconvénients de l'état de la technique en proposant un système d'exosquelette assurant l'assistance en soutien et motricité des segments biologiques d'une personne, cette assistance s'adaptant au mieux aux caractéristiques biomécaniques et pathologiques de la personne ainsi qu'à ses volontés de mouvement et à son champ d'activités.

Pour atteindre un tel objectif, l'objet de l'invention concerne un système d'exosquelette comportant :

- une structure porteuse exosquelettique équipée de moyens d'adaptation sur la personne et composée d'une structure de référence et d'au moins un segment mécanique relié à la structure de référence par une articulation mécanique,
- des moyens d'acquisition des mouvements des segments biologiques,

- des moyens d'acquisition de la position spatiale des segments mécaniques par rapport à la structure de référence,
- des moyens d'actionnement assurant la motricité des segments mécaniques articulés,
- 5 - et des moyens de commande reliés en entrée aux moyens d'acquisition de mouvements et de positions, et en sortie aux moyens d'actionnement pour assurer leur pilotage.

Conformément à l'invention :

- lesdits moyens d'acquisition des mouvements acquièrent aussi les
10 volontés de mouvements et sont constitués par des moyens de mesure en fonction du temps, de l'effort provenant d'au moins un segment biologique et des moyens de détection en fonction du temps, de la direction des mouvements ou volontés de mouvements de ces segments,
- lesdits moyens de commande comportent :
 - 15 * des paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités, et des paramètres propres à la configuration de l'exosquelette,
 - * des moyens de traitement qui, en fonction desdits paramètres et des informations issues desdits moyens d'acquisition des mouvements ou volontés de mouvements, déterminent proportionnellement, des caractéristiques de vitesse,
20 d'accélération, de décélération et d'effort pour lesdits moyens d'actionnement,
 - * et des moyens de pilotage permettant de commander lesdits moyens d'actionnement, selon des caractéristiques de vitesse, d'accélération, de décélération et d'effort préalablement déterminés par lesdits moyens de traitement.
- 25 Selon une caractéristique avantageuse, les paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités comportent les caractéristiques biomécaniques et pathologiques de la personne afin de déterminer les facteurs de proportionnalité d'amplification de motricité, et éventuellement d'atténuation, voire de suppression des mouvements involontaires.
- 30 Avantageusement, les paramètres d'asservissement comportent des coefficients de limitation d'amplitude des mouvements de la personne.

Par ailleurs, il est à noter que le brevet US 3 449 769 décrit une structure exosquelettique dont les différents segments mécaniques sont articulés les uns par

rapport aux autres par des liaisons pivots simples dont les axes sont successivement parallèles ou perpendiculaires. Pour la restitution du mouvement articulaire complexe comme celui de l'abduction du bras humain autour de l'axe de l'épaule, il est prévu de le décomposer en trois liaisons pivots successives dont les deux axes extrêmes sont parallèles l'un par rapport à l'autre et celui du milieu est perpendiculaire aux deux autres. Il est à noter toutefois qu'une abduction du bras de plus de 130 degrés alors que le bras peut tolérer 180 degrés, provoque l'entrée en collision du moteur avec la tête de l'utilisateur. Dans le même sens, la simplification de l'articulation du genou à un axe horizontal tel que le préconise le brevet US 3 449 769 conduit à des contraintes indésirables et des frictions en raison de l'existence de l'angle de valgus physiologique du genou. Un tel système d'exosquelette qui comporte des axes d'articulation ne correspondant pas à la réalité biologique ne peut pas être utilisé en raison des efforts appliqués sur les segments osseux entraînant des frictions indésirables entre le membre et la structure exosquelettique, voire même des lésions.

Dans le même sens, le brevet US 5 282 460 décrit un système d'exosquelette comportant une articulation à trois axes mutuellement perpendiculaires et concourant en un point. Une telle articulation exosquelettique entraîne indubitablement des contraintes au niveau des articulations biologiques de l'utilisateur.

Il apparaît donc le besoin de disposer d'un système d'exosquelette dont la structure exosquelettique peut s'adapter au mieux aux segments biologiques et aux articulations biologiques d'une personne.

Pour atteindre un tel objectif, chaque articulation mécanique liant deux segments mécaniques ou un segment mécanique par rapport à la structure de référence comporte :

- des moyens de réglage de sa position par rapport à la structure de référence ou à un autre segment, afin de permettre son positionnement en correspondance de l'articulation biologique,

- pour chaque articulation mécanique correspondant à une articulation biologique à l'exception de celle de l'épaule, autant de liaison pivot que l'articulation biologique comporte de degrés de liberté,

- pour l'articulation mécanique correspondant à l'articulation de l'épaule, quatre degrés de liberté réalisés par deux liaisons pivot et une liaison pivot glissant radialement.

Avantageusement, chaque liaison pivot est réalisée par un système de guidage
5 à arbre ou par un système de guidage sans arbre.

Avantageusement, chaque articulation d'un segment mécanique est pourvue, pour chaque degré de liberté d'une articulation biologique à au moins trois degrés de liberté, d'au moins une liaison pivot réalisée par un système de guidage sans arbre, tandis que les autres liaisons pivot sont réalisées chacune par un système de guidage
10 à arbre.

De préférence, le système de guidage sans arbre est réalisé par au moins un tronçon de rail circulaire assurant le guidage d'au moins un patin mobile.

Avantageusement, la liaison pivot glissant radialement est composée soit de plusieurs axes de rotation successifs permettant de restituer une trajectoire proche de celle du glissement de l'axe de rotation biologique soit d'un guide doté d'une
15 empreinte dans laquelle l'axe de la liaison pivot décrit une trajectoire semblable à ce glissement.

Selon des exemples préférés de réalisation, les moyens d'acquisition des mouvements ou volontés de mouvements comportent :

20 - des jauges de contraintes montées en opposition sur une partie fixe liée à la structure porteuse, en étant sollicitées par une partie mobile reliée à un segment biologique,

- et/ou des moyens de mesure des stimuli neuro-musculaires envoyés par la personne à ses muscles.

25 Un autre objet de l'invention est de proposer une structure porteuse exosquelettique pouvant être adaptée facilement sur un utilisateur tout en portant les différents capteurs de mesure.

Pour atteindre un tel objectif, les moyens d'adaptation sur la personne sont constitués par une partie fixe et une partie mobile concentriques et constituées
30 chacune de deux demi-coques articulées axialement entre elles pour permettre l'insertion radiale d'un segment biologique.

Selon une caractéristique préférée de réalisation, chaque demi-coque de la partie mobile supporte une membrane adaptable destinée à être en contact avec le segment biologique et à s'adapter à la morphologie dudit segment biologique.

Avantageusement, les moyens d'actionnement sont constitués par des muscles
5 pneumatiques ou par des vérins linéaires pneumatiques.

De préférence, la structure porteuse comporte des butées réglables de limitation de l'amplitude de déplacement des segments mécaniques articulés.

Il est à noter que les moyens de commande comportent des moyens programmés permettant de piloter le fonctionnement de la structure porteuse
10 exosquelettique selon des séquences déterminées.

Par ailleurs, les moyens de commande sont reliés de préférence, à des interfaces d'entrée-sortie permettant de piloter et de surveiller notamment à distance le fonctionnement dudit système d'exosquelette.

Avantageusement, au moins un segment mécanique ou bien la structure de
15 référence est équipé de moyens de montage pour des structures additionnelles.

Le système d'exosquelette selon l'invention comporte une source d'énergie alimentant les moyens de commande, d'acquisition et d'actionnement, portée par la structure porteuse exosquelettique et se présentant sous une forme stockable telle qu'une batterie ou une pile à combustible ou étant située à proximité de celle-ci pour
20 l'alimenter par le biais d'un faisceau de raccordement ou par induction.

Avantageusement, la structure porteuse exosquelettique assure l'assistance d'un segment biologique d'un membre, du tronc ou du bassin d'une personne.

Un autre objet de l'invention est de proposer un assemblage exosquelettique comportant plusieurs systèmes d'exosquelettes conformes à l'invention et assemblés
25 par leur structure de référence, sur une structure d'exosquelette de tronc et/ou de bassin afin de constituer une structure exosquelettique partielle ou complète assurant de manière partielle ou complète, le soutien et la motricité de divers segments biologiques d'une personne.

Diverses autres caractéristiques ressortent de la description faite ci-dessous en
30 référence aux dessins annexés qui montrent, à titre d'exemples non limitatifs, des formes de réalisation de l'objet de l'invention.

La **Figure 1** est une vue en perspective montrant un exemple de réalisation d'un système d'exosquelette pour le membre supérieur droit d'une personne assise dans un fauteuil roulant.

La **Figure 2** est un schéma bloc fonctionnel des moyens de commande du système d'exosquelette conforme à l'invention.

Les **Figures 3** et **4** représentent des courbes d'effort en fonction du temps illustrant certaines caractéristiques du système d'exosquelette conforme à l'invention.

Les **Figures 5** et **6** sont des vues simplifiées en perspective d'un système d'exosquelette pour le membre supérieur droit d'une personne dont les moyens d'actionnement ont été occultés pour simplifier la représentation.

Les **Figures 7A** et **7B** sont des schémas cinématiques illustrant le mouvement de l'abduction du bras.

Les **Figures 7C** et **7D** sont des vues schématiques explicitant des caractéristiques du système d'exosquelette selon l'invention.

Les **Figures 8A** et **8B** sont des schémas cinématiques illustrant le mouvement de flexion-extension du bras.

La **Figure 9A** est un schéma cinématique illustrant le mouvement de rotation par rapport à l'axe longitudinal du bras.

La **Figure 9B** est une représentation cinématique schématique du système d'exosquelette illustré aux **Fig. 5** et **6**.

La **Figure 9C** est un schéma cinématique illustrant le mouvement de rotation de l'avant-bras autour de l'axe du coude.

La **Figure 10** est une représentation cinématique schématique d'un système d'exosquelette pour le membre inférieur d'une personne.

La **Figure 11** illustre une variante préférée de réalisation en position ouverte de moyens d'adaptation du système d'exosquelette selon l'invention sur un membre biologique.

La **Figure 12** illustre une variante préférée de réalisation en position fermée des moyens d'adaptation du système d'exosquelette selon l'invention représentés à la **Fig. 11**.

La **Figure 13** est une vue en coupe partielle longitudinale prise sensiblement selon les lignes AA de la **Fig. 12**.

L'objet de l'invention concerne un système d'exosquelette **1** destiné à assister au moins un segment biologique S_b d'une partie **M** d'une personne dans ses mouvements en la délestant de tout ou partie des efforts qu'elle exerce pour réaliser des tâches, voire pour la soulager de son poids propre ou encore pour amplifier ses capacités. Il doit être compris que le système d'exosquelette **1** selon l'invention est destiné à assurer, d'une manière préférée, l'assistance d'un ou de plusieurs segments biologiques du ou des membres supérieurs tels que l'épaule, le bras, l'avant-bras ou le poignet mais également un ou plusieurs segments biologiques du ou des membres inférieurs tels que la hanche, la cuisse, la jambe ou le pied. Cependant, même si la description qui suit vise l'assistance d'un segment biologique d'un membre d'une personne, le système d'exosquelette **1** selon l'invention peut être adapté pour assister, en tant que partie **M** de la personne, le tronc, le bassin d'une personne. Dans l'exemple illustré à la **Fig. 1**, le système d'exosquelette **1** assure l'assistance du bras et de l'avant-bras droits d'une personne assise dans un fauteuil roulant **R**.

Le système d'exosquelette **1** selon l'invention comporte une structure porteuse exosquelettique **2**, composée d'une structure de référence **3** et d'au moins un segment mécanique **4** destiné à équiper un segment biologique S_b d'un membre d'une personne. Dans l'exemple illustré où le système d'exosquelette **1** est destiné à assurer l'assistance de l'épaule, du bras et de l'avant-bras droits, le système d'exosquelette **1** comporte deux segments mécaniques **4**. Chaque segment mécanique **4** est monté sur un segment biologique S_b correspondant, à l'aide de moyens d'adaptation **7** dont un exemple préféré de réalisation sera illustré dans la suite de la description. Une articulation mécanique **8** est montée entre chaque segment mécanique **4** adjacent et entre la structure de référence **3** et le segment mécanique voisin **4**.

Il est à noter que la structure de référence **3** est considérée fixe par rapport au(x) segment(s) mécanique(s) ayant la vocation d'être mobile. Cette structure de référence **3** peut être ainsi supportée, soit par la personne avec une possibilité de mouvement ou non, soit par une structure porteuse voisine à la personne tel qu'un fauteuil roulant par exemple.

Tel que cela ressort plus précisément de la **Fig. 2**, le système d'exosquelette **1** comporte également des moyens **11** permettant d'acquérir les mouvements et les volontés de mouvements des segments biologiques S_b . Ces moyens d'acquisition **11** sont constitués par des moyens assurant d'une part, la mesure en fonction du temps,

de l'effort provenant d'au moins un segment biologique S_b et d'autre part, la détection en fonction du temps de la direction des mouvements ou volonté de mouvements de ces segments biologiques.

5 Selon une variante préférée de réalisation, ces moyens d'acquisition 11 comportent des jauges de contrainte 12 montées en opposition sur une partie fixe liée à la structure porteuse 2 et en étant sollicitée par une partie mobile fixée à un segment biologique S_b . Selon une autre variante de réalisation, les moyens d'acquisition 11 comportent des moyens de mesure des stimuli neuro-musculaires envoyés par la personne à ses muscles.

10 Il doit être compris que ces moyens d'acquisition 11 permettent de déterminer en fonction du temps, l'effort exercé par le segment biologique ainsi que sa direction de mouvement ou dans le cas où le segment biologique n'est pas déplacé dans l'espace, par la volonté de mouvement de la personne.

15 Le système d'exosquelette 1 comporte également des moyens 15 permettant d'acquérir la position spatiale des segments mécaniques 4 par rapport à la structure de référence 3. Ces moyens d'acquisition 15 comportent par exemple des codeurs 16 de position angulaire.

20 Le système d'exosquelette 1 comporte également des moyens de commande 17 reliés en entrée, aux moyens d'acquisition de mouvements 11 et de position 15 et en sortie, à des moyens d'actionnement 19 assurant l'assistance en soutien et en motricité des segments mécaniques 4.

Les moyens de commande 17 comportent des paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités ainsi que des paramètres propres à la configuration de l'exosquelette.

25 Les paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités concernent en particulier les mensurations de chaque membre biologique afin de déterminer leur volume, ce qui permet aux moyens de commande de déterminer la masse et par suite l'inertie de chaque membre biologique. L'inertie ayant tendance à générer une résistance s'opposant au mouvement, sa valeur doit être
30 intégrée dans l'interprétation réalisée par les moyens de traitement 17.

Ces paramètres d'asservissement peuvent concerner également éventuellement les caractéristiques biomécaniques d'une personne souffrant d'un handicap moteur. Ainsi, tel que cela est illustré à la Fig. 3, dans le cas d'un membre souffrant de

déficience de capacité de motricité permanente ou momentanée, il peut être effectué une mesure précise de son potentiel d'effort résiduel E_r afin de compenser celui-ci en lui restituant des capacités biomécaniques supérieures à celles qui lui sont propres. Ainsi, il peut être obtenu une capacité augmentée C_a qui correspond à une
5 amplification de motricité.

De même, il peut être envisagé dans le cas d'une rééducation d'un membre d'une personne, de définir un paramètre de rééducation. Dans ce cas, la personne souffre d'une motricité restreinte momentanée. Aussi, il peut être prévu une diminution progressive de l'assistance en puissance du système d'exosquelette et/ou
10 une augmentation progressive de la vitesse du système d'exosquelette en fonction d'une part, du temps et d'autre part, de l'augmentation, au fur et à mesure de la rééducation, des capacités résiduelles de la personne.

La **Fig. 4** illustre un autre exemple d'un paramètre d'asservissement concernant le cas d'une personne souffrant de mouvements involontaires nommés
15 « overboost ». Les mouvements de la personne sont quantifiés dans un premier temps afin de distinguer le mouvement volontaire M_v du mouvement involontaire M_i . Ensuite, le mouvement restitué M_r par le système d'exosquelette 1 permet d'atténuer, voire de supprimer le mouvement involontaire M_i .

Les paramètres d'asservissement propres au champ d'activités de la personne
20 peuvent correspondre à des paramètres de charge fixe dans le cas où le système d'exosquelette reçoit des structures additionnelles tels que des éléments de protection lourds. Le système d'exosquelette selon l'invention agit alors comme un délesteur de charge en soulageant la personne de cette masse invalidante. La masse et le centre de gravité de chacun de ces éléments additionnels sont mesurés et consignés sous la
25 forme de paramètres de charge fixe. De telles structures additionnelles peuvent être constituées de tenues pare-balles, pare-feu ou anti-écrasement par exemple.

Les paramètres d'asservissement propres au champ d'activités de la personne peuvent être également constitués par des paramètres de charge évolutive dans le cas où la personne utilise des appareils, des outillages, de l'armement, ou des accessoires
30 divers nécessitant des mouvements très précis, des efforts très importants ou bien la manutention de charge lourde. Dans ce cas, le système d'exosquelette assure une augmentation des capacités de la personne dont le coefficient de multiplication sera dimensionné relativement aux besoins de la personne et à son champ d'activités.

Les paramètres de charge évolutive peuvent être également constitués par des facteurs d'accélération ou de décélération, de grandes valeurs dans le cas où le système d'exosquelette joue le rôle d'une tenue anti-G. Les moyens de commande 17 reçoivent en temps réel les informations liées à ces accélérations/décélérations en vue des les transformer en un coefficient multiplicateur d'efforts visant à s'opposer au facteur inertiel.

Il est à noter que les paramètres d'asservissement propres à la personne comportent des coefficients de limitation de l'amplitude du débattement des mouvements de la personne.

Les paramètres propres à la configuration de l'exosquelette sont constitués par les caractéristiques des divers composants de la structure porteuse exosquelettique 2, telles que les dimensions, masses, centres de gravité, ainsi que par les caractéristiques des moyens d'acquisition 11 et 15, de la puissance des moyens d'actionnement 19 et de l'énergie utilisée.

Selon une autre caractéristique de l'invention, les moyens de commande 17 comportent des moyens de traitement qui en fonction des paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités, des paramètres propres à la configuration de l'exosquelette et des informations issues des moyens d'acquisition 11 des mouvements ou volontés de mouvements, déterminent proportionnellement des caractéristiques de vitesse, d'accélération, de décélération et d'effort pour les moyens d'actionnement 19.

Ces caractéristiques de vitesse, d'accélération, de décélération et d'effort déterminés par ces moyens de traitement sont utilisés par des moyens de pilotage 20 pour permettre de commander les moyens d'actionnement 19 selon de telles caractéristiques de vitesse, d'accélération, de décélération et d'effort.

Il ressort de ce qui précède que le système d'exosquelette 1 selon l'invention met en œuvre une relation de proportionnalité entre le mouvement émis ou souhaité par la personne et celui restitué par la structure porteuse exosquelettique. Ainsi, le mouvement de la structure porteuse exosquelettique est fonction des signaux de mouvements ou volontés de mouvements de la personne, des paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités ainsi que des paramètres propres à la configuration de l'exosquelette.

Ainsi, cette proportionnalité qualifie un mouvement généré par les moyens d'actionnement 19 et transmis à la structure porteuse exosquelettique 2, dont les caractéristiques vitesse, accélération, décélération et effort sont fonction des informations d'entrée reçues par les moyens de commande 17. Ces informations d'entrée sont ainsi corrigées par les divers paramètres décrits ci-dessus.

Il est à noter que les moyens de commande 17 peuvent faire partie d'un dispositif de commande 25 relié en entrée aux capteurs de mesure 12 et 16 et en sortie aux moyens de pilotage 19. Il est clair qu'un tel dispositif de commande 25 peut intégrer les moyens de traitement des signaux délivrés par les capteurs 12 et 16 qui se trouvent dans cette hypothèse reliés en entrée au dispositif de commande 25.

Un tel dispositif de commande 25 est équipé d'interfaces d'entrée et sortie 27 permettant de piloter et de contrôler le fonctionnement du système d'exosquelette. Ces interfaces d'entrée et sortie 27 peuvent être situées à distance ou dans l'environnement proche du système d'exosquelette en étant par exemple porté par la structure de référence 3 ou par un support voisin à la personne tel qu'un fauteuil roulant. Ces interfaces d'entrée et sortie 27 peuvent par exemple être réalisées par un boîtier de commande, par une interface homme/machine ou par un ordinateur relié par une liaison filaire ou non.

Il est à noter que les moyens de commande 17 comportent des moyens programmés permettant de piloter le fonctionnement de la structure porteuse exosquelettique 2 selon des séquences déterminées. Le déclenchement de telles séquences peut être réalisé par les interfaces d'entrée et sortie 27.

Le système d'exosquelette 1 comporte également une source d'énergie 28 adaptée pour alimenter, à travers de préférence, un circuit de protection 29, les divers éléments constitutifs du système d'exosquelette tels que les moyens d'acquisition 11 et 15, les moyens d'actionnement 19 et les moyens de commande 17. Cette source d'énergie peut se présenter sous une forme stockable telle qu'une batterie ou une pile à combustible portée par la structure porteuse exosquelettique et en particulier par la structure de référence 3. Cette source d'énergie peut aussi être située à proximité du système d'exosquelette et alimenter les divers éléments constitutifs par le biais d'un faisceau de raccordement ou par induction.

Conformément à un autre aspect de l'invention, le système d'exosquelette 1 comporte une structure porteuse exosquelettique qui permet de respecter les

mouvements bio-mécaniques de chaque segment biologique de la personne. Ainsi, chaque articulation mécanique 8 liant entre eux deux segments mécaniques 4 ou un segment mécanique 4 par rapport à la structure de référence 3 comporte des moyens de réglage de sa position par rapport à la structure de référence 3 ou à un autre
5 segment mécanique 4 afin de permettre son positionnement en correspondance de l'articulation biologique. Il est entendu que le réglage de la position d'une articulation mécanique 8 implique d'une part, le réglage de la distance qui la sépare de l'articulation voisine et d'autre part, le réglage de l'inclinaison de chacun des axes qui constitue cette articulation mécanique.

10 Par ailleurs, chaque articulation mécanique 4 correspondant à une articulation biologique à l'exception de celle de l'épaule, comporte autant de liaisons pivot que l'articulation biologique comporte de degrés de liberté. En d'autres termes, en dehors de l'épaule, chaque degré de liberté d'une articulation biologique est réalisé par une liaison pivot qui par définition présente un degré de liberté en rotation. L'articulation
15 mécanique correspondant à l'articulation de l'épaule, comporte quant à elle, quatre degrés de liberté réalisés par deux liaisons pivots et par une liaison pivot glissant radialement, correspondant à trois degrés de liberté en rotation et un degré de liberté en translation.

Chaque liaison pivot est réalisée par un système de guidage à arbre ou par un
20 système de guidage sans arbre. Il est à noter qu'une liaison pivot peut être constituée de plusieurs liaisons pivot partielles et coaxiales. Dans le cas d'une articulation biologique ne comportant pas plus de deux degrés de liberté tels que le coude, le poignet ou le genou, chaque degré de liberté de l'articulation mécanique correspondante est réalisée par une liaison pivot constituée par un système de
25 guidage à arbre ou sans arbre. Dans le cas où l'articulation biologique comporte au moins trois degrés de liberté (l'épaule, la hanche ou le pied), au moins une des trois liaisons pivot est réalisée par un système de guidage sans arbre, tandis que les autres liaisons pivot sont réalisées chacune par un système de guidage à arbre.

Selon un aspect avantageux de l'invention, les liaisons pivot simples ou
30 glissant sont placées dans une arborescence hiérarchique de mouvements où chacun est supporté par l'articulation mécanique qui le précède. Ainsi, le système d'exosquelette 1 selon l'invention se présente, pour le membre supérieur, comme la succession hiérarchique des mouvements suivants : l'abduction de l'épaule, la

flexion-extension de l'épaule, la rotation longitudinale du bras autour de son axe, la flexion-extension du coude, la rotation longitudinale de l'avant-bras autour de son axe, la flexion-extension du poignet, et l'abduction/adduction du poignet. De même, pour le membre inférieur, le système d'exosquelette 1 selon l'invention se présente
5 comme la succession hiérarchique des mouvements suivants : l'abduction de la hanche, la flexion-extension de la hanche, la rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau de la hanche, la flexion-extension du genou, la rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau du genou, l'abduction/adduction du pied, la flexion-extension du pied.

10 Les Fig. 5 et 6 illustrent un exemple de réalisation d'un système d'exosquelette pour assister l'épaule, le bras et l'avant-bras droits d'une personne de sorte que les deux derniers mouvements liés au poignet ne sont pas assistés dans le système d'exosquelette illustré sur les dessins.

La rotation de l'épaule humaine correspondant au mouvement de l'abduction
15 du bras (Fig. 7A et 7B) est un mouvement de rotation combinée à un glissement de son centre instantané de rotation. Une simplification acceptable, biomécaniquement parlant, peut être la combinaison d'une rotation (de 0 à 90 degrés) puis d'un glissement et d'une rotation simultanés (de 90 à 180 degrés). Conformément à l'invention, ce mouvement de l'articulation de l'épaule est matérialisé par une liaison
20 pivot glissant radialement 31. Selon un exemple de réalisation illustré à la Fig. 7C, cette liaison pivot glissant radialement 31 peut être concrétisée par plusieurs axes de rotation de liaisons pivots simples 31a, 31b, 31c montés successivement en série, permettant de restituer une trajectoire proche de celle du glissement de l'axe de rotation biologique. Il est à noter que cette liaison pivot glissant radialement 31 peut
25 être réalisée d'une manière différente par l'intermédiaire, par exemple comme illustré à la Fig. 7D, d'un guide 31d doté d'une empreinte 31e dans laquelle un axe 31f de rotation de la liaison pivot 31g peut décrire une trajectoire radiale semblable au glissement souhaité.

Dans l'exemple de réalisation illustré aux Fig. 5 et 6 et comme explicité
30 ci-dessus, la liaison pivot glissant radialement 31 est concrétisée par deux liaisons pivots 32 et 33, réalisées chacune par un système de guidage à arbre. D'une manière générale, chaque liaison pivot à arbre peut-être concrétisée par exemple, soit par des assemblages de type arbre plus logement, soit par des assemblages arbre plus

logement doté d'équipements de roulement de tous types, soit par des assemblages arbre-logement doté de bagues comportant des matériaux à bas coefficient de frottement, soit encore par des paliers utilisant un fluide à haute pression tel qu'un palier hydraulique.

5 La première liaison pivot 32 présente ainsi un logement 32a relié à la structure de référence 3 et un arbre tournant 32b dont la position angulaire est détectée par un codeur 16 relativement à cette structure de référence 3. La deuxième liaison pivot 33 est réalisée par un arbre 33a monté dans un logement 33b qui est porté par une platine 35 sur laquelle est fixée également l'extrémité encastree 32c de l'arbre
10 tournant 32b. Le logement 33b est monté de manière réglable sur la platine 35 de manière à permettre de régler l'entraxe relatif entre les arbres tournants 32b et 33a. Un codeur 16 est placé pour détecter la position angulaire de l'arbre tournant 33a relativement à cette platine 35.

 Un moyen d'actionnement 19₁ assure le mouvement d'abduction qui se déroule
15 en deux temps. La première rotation est effectuée autour de la deuxième liaison pivot 33 depuis 0 à 90 degrés jusqu'à ce que l'extrémité du moyen d'actionnement 19₁ vienne en butée mécanique contre l'extrémité encastree 32c. La deuxième rotation s'effectue alors autour de la première liaison pivot 32 sur une course de 90 à 160 degrés.

20 Le système d'exosquelette 1 vise ensuite à reproduire le mouvement de flexion-extension de l'épaule tel qu'illustré plus précisément aux Fig. 8A et 8B. Un tel degré de liberté de l'articulation biologique est concrétisé par une liaison pivot 38 réalisée par un système de guidage à arbre. Cette liaison pivot 38 comporte un arbre de rotation 38a monté dans un logement 38b qui est relié à l'arbre tournant 33a de la
25 deuxième liaison pivot 33 par l'intermédiaire d'une équerre 39. L'arbre 38a est pourvu d'un codeur de position 16. Le logement 38b comporte des moyens de réglage de sa position par rapport aux autres liaisons pivot. Un moyen d'actionnement 19₂ agissant sur l'équerre 39 permet de motoriser le mouvement de flexion-extension de l'épaule.

30 Les Fig. 9A et 9B illustrent le troisième degré de liberté de l'articulation de l'épaule à savoir la rotation longitudinale du bras autour de son axe longitudinal A. Ce degré de liberté est concrétisé par l'intermédiaire d'une liaison pivot 41 réalisée par un système de guidage sans arbre. Comme rappelé ci-dessus, au moins un

système de guidage sans arbre s'impose pour une articulation comportant au moins trois degrés de liberté en raison de l'encombrement de réalisation des différentes liaisons pivot.

Le système de guidage sans arbre **41** est constitué par au moins un tronçon de rail circulaire **43** centré sur un axe matérialisant l'axe de rotation longitudinal **A** du bras autour de son axe. Ce tronçon de rail **43** assure le guidage en rotation autour de l'axe **A** d'au moins un patin mobile **44** supportant le logement **38b** de l'arbre appartenant à la troisième liaison pivot **38**. Le patin mobile **44** est réglable angulairement par rapport à la liaison pivot **38**. Un tel patin **44** est équipé d'interfaces de glissement en matériaux à bas coefficient de frottement, d'éléments de roulement telles que des billes, rouleaux, aiguilles ou roulements à billes. Le patin **44** est équipé d'un codeur **16** permettant de connaître sa position autour de l'axe **A**. Par exemple, ce codeur **16** comporte un pignon **45** s'engrénant avec une crémaillère **46** porté par le rail de guidage circulaire **43**. Le mouvement de rotation longitudinale du bras autour de son axe longitudinal **A** est assuré par des moyens d'actionnement **19₃**.

Ce rail de guidage **43** est porté par un segment mécanique **4₁** constitué sous la forme d'un longeron vertical **49** portant une glissière **50** sur laquelle est montée une fourchette **51** portant l'articulation mécanique du coude. La possibilité de réglage en coulissement de la glissière **50** par rapport au longeron vertical **49** permet un réglage de l'entraxe entre l'articulation de l'épaule et l'articulation du coude.

Tel que cela apparaît plus précisément à la Fig. **9C**, le système d'exosquelette vise ensuite à concrétiser la rotation de l'avant-bras autour de l'axe **B** du coude par l'intermédiaire d'une liaison pivot **60**. Cette liaison pivot **60** est réalisée par un système de guidage à arbre comportant, dans l'exemple illustré deux logements **61** portés par les extrémités de la fourchette **51** et dans lequel sont logés deux demi-arbres **62** montés coaxialement l'un à l'autre et reliés à une demi-coque de support **64** pour l'avant-bras faisant partie d'un segment mécanique **4₂**. Le mouvement de rotation du coude autour de l'axe **62** est assuré par des moyens d'actionnement **19₄**. Un codeur **16** permet de déterminer la position de rotation de l'axe **62**. La demi-coque **64** supporte un longeron inférieur **65** qui est monté de préférence, de manière réglable sur la demi-coque **64**. Il est à noter que dans ce cas, la liaison pivot **60** est concrétisée par deux liaisons pivot partielles coaxiales.

Il ressort de la description qui précède que le système d'exosquelette 1 selon l'invention permet de respecter au mieux les mouvements bio-mécaniques de chaque segment biologique de la personne en positionnant en correspondance de chaque articulation biologique, une articulation mécanique 8 reliée avec la structure de référence 3 ou avec une autre articulation mécanique 8 par l'intermédiaire d'un segment mécanique 4. Dans l'exemple de réalisation décrit aux Fig. 5 et 6, le système d'exosquelette 1 comporte en tant qu'articulation mécanique 8, la liaison pivot glissant radialement 31, la liaison pivot 38, la liaison pivot 41 et la liaison pivot 60. De même, le système d'exosquelette 1 comporte en tant que segment mécanique 4, à partir de la structure de référence 3, l'équerre 39, le segment mécanique 4₁ (composé du longeron vertical 49, de la glissière 50 et de la fourchette 51), le segment mécanique 4₂ composé de la demi-coque de support 64 et du longeron inférieur 65.

Les moyens d'actionnement 19, 19₁, 19₂, ... sont de préférence du type pneumatique. Ces moyens d'actionnement peuvent être constitués par des vérins linéaires à double ou simple effet ou par des vérins rotatifs à double effet. Selon une variante préférée de réalisation, les moyens d'actionnement sont réalisés par des actionneurs simples effets nommés muscles pneumatiques tels que ceux commercialisés par la société FESTO sous les références MAS. Selon cet exemple de réalisation incluant des moyens d'actionnement du type pneumatique, la source d'énergie 28 alimente un compresseur pneumatique qui alimente lui-même les moyens de pilotage 20. Ces moyens de pilotage 20 alimentent eux-mêmes en débit proportionnel et en pression proportionnelle les moyens d'actionnement pneumatiques. Ce compresseur pneumatique peut être porté par la structure porteuse exosquelettique 2 ou être situé à proximité en étant raccordé aux moyens de pilotage 20 par un faisceau d'alimentation.

Le système d'exosquelette 1 décrit ci-dessus vise à assurer l'assistance des deux premiers segments biologiques du membre supérieur d'une personne. Bien entendu le système d'exosquelette selon l'invention peut être adapté pour assurer l'assistance d'un segment et d'une manière plus générale, des autres segments biologiques du membre inférieur d'une personne. Selon cette variante de réalisation, le système d'exosquelette selon l'invention se présente comme la succession hiérarchique des mouvements suivants : l'abduction de la hanche, la flexion-

extension de la hanche, la rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau de la hanche, la flexion-extension du genou, la rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau du genou, l'abduction/adduction du pied et la flexion-extension du pied. Ainsi tel que cela ressort plus précisément de la Fig. 10, la structure porteuse exosquelettique 2 comporte successivement à partir de la structure de référence 3 :

- une liaison pivot 70 réalisée par un système de guidage à arbre et matérialisant le degré de liberté correspondant à l'abduction de la hanche,
- une liaison pivot 71 réalisée par un système de guidage à arbre et matérialisant le degré de liberté correspondant à la flexion-extension de la hanche,
- une liaison pivot 72 réalisée par un système de guidage sans arbre et correspondant au degré de liberté de rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau de la hanche,
- une liaison pivot 73 réalisée par un système de guidage à arbre et correspondant au degré de liberté de la flexion-extension du genou,
- une liaison pivot 74 réalisée par un système de guidage sans arbre et correspondant au degré de liberté de rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau du genou,
- une liaison pivot 75 réalisée par un système de guidage à arbre et correspondant au degré de liberté de l'abduction/adduction du pied,
- une liaison pivot 76 réalisée par un système de guidage à arbre et correspondant au degré de liberté de la flexion-extension du pied.

Les mouvements d'abduction de la hanche, de flexion-extension de la hanche, de rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau de la hanche, de flexion-extension du genou, de rotation de la jambe autour de son axe longitudinal au niveau du genou, d'abduction/adduction du pied et de flexion-extension du pied sont assurés par des moyens d'actionnement respectivement 19₅ à 19₁₁.

Comme expliqué dans la description qui précède, la structure porteuse exosquelettique 1 est équipée de moyens 7 d'adaptation au segment biologique du membre à assister.

Selon un autre aspect de l'objet de l'invention, le système d'exosquelette 1 est équipé de moyens d'adaptation 7 conçus pour permettre une mise en place facile et sûre du ou des segments biologiques de la personne tout en assurant une captation

efficace des mouvements ou des volontés de mouvement des segments biologiques de la personne.

Tel que cela ressort plus précisément des Fig. 11 à 13, ces moyens d'adaptation 7 se présentent sous la forme d'un bracelet s'ouvrant selon un axe 80 s'étendant selon une direction sensiblement parallèle à l'axe du segment biologique pour permettre d'assurer la mise en place et le retrait facile du segment biologique correspondant. Un tel bracelet 7 comporte une partie mobile 81 reliée à un segment biologique S_b et une partie fixe ou de référence 82 liée par tout moyen approprié, à la structure porteuse et plus précisément à un segment mécanique 4. Ainsi, dans l'exemple illustré aux Fig. 5 et 6, la partie fixe 82 de chaque bracelet 7 est fixée respectivement sur une glissière 50 et 65.

La partie fixe 82 et la partie mobile 81 sont sensiblement concentriques et constituées chacune de deux demi-coques respectivement 82a - 82b et 81a - 81b articulées axialement entre-elles selon un axe 80. Chaque demi-coque 81a - 81b de la partie mobile supporte une membrane adaptable 85, par exemple gonflable, destinée à être en contact avec le segment biologique et à s'adapter à la morphologie du segment biologique. La membrane adaptable 85 vient ainsi enserrer un segment biologique lorsque le bracelet 7 est fermé. Il est à considérer que la membrane adaptable enserre au mieux le segment biologique nu ou recouvert d'un vêtement.

Chaque partie fixe 82 est équipée de jauges de contrainte 12 montées en opposition. Dans l'exemple illustré, la partie fixe 82 est équipée de quatre jauges de contraintes 12 décalées angulairement de 90 degrés de manière à former deux paires en opposition. Les jauges de contrainte 12 sont destinées à venir en appui sur une plaque support 86a - 86b faisant partie des deux demi-coques mobiles et supportant la membrane adaptable 85.

Le bracelet 7 décrit ci-dessus comporte ainsi par la membrane adaptable 85, une sorte de bracelet mobile intérieur qui reçoit les amorces de mouvements générées par le membre. Un tel bracelet intérieur permet de mettre sous contrainte les jauges de contraintes 12 qui se déforment proportionnellement à la pression exercée par la partie mobile.

Il est à noter que le bracelet 7 peut être doté d'un degré de liberté supplémentaire afin de permettre la rotation, autour de l'axe longitudinal, entre le bracelet intérieur 81 et la partie fixe 82.

L'objet de l'invention a été décrit plus précisément pour un système d'exosquelette assistant un membre biologique. Il est clair que la même structure exosquelettique 2 peut être appliquée à l'assistance, le soutien et la motorisation du tronc et/ou du bassin d'une personne. Cette structure exosquelettique est articulée, de
5 la même manière que l'exosquelette de membre, par des liaisons pivot en coïncidence avec les degrés de liberté de cet ensemble. Sur cette structure exosquelettique, dont le bassin est assimilé à la structure fixe et le tronc à un segment biologique ou vice-versa, un ou plusieurs systèmes d'exosquelette de membres selon l'invention peuvent être assemblés par leurs structures de référence 3 pour former un
10 assemblage exosquelettique adapté aux différents membres d'une personne. Cet assemblage peut alors constituer une structure exosquelettique complète ou partielle pour assurer de manière complète ou partielle, le soutien et la motricité de divers segments biologiques d'une personne.

L'invention n'est pas limitée aux exemples décrits et représentés car diverses
15 modifications peuvent y être apportées sans sortir de son cadre.

REVENDICATIONS

1 - Système d'exosquelette (1) assurant l'assistance en soutien et motricité d'au moins un segment biologique (S_b) d'une personne, le système comportant :

5 - une structure porteuse exosquelettique (2) équipée de moyens d'adaptation (7) sur la personne et composée d'une structure de référence (3) et d'au moins un segment mécanique (4) relié à la structure de référence par une articulation mécanique (8),

10 - des moyens (11) d'acquisition des mouvements des segments biologiques,
 - des moyens (15) d'acquisition de la position spatiale des segments mécaniques (4) par rapport à la structure de référence (3),

15 - des moyens d'actionnement (19) assurant la motricité des segments mécaniques articulés,
 - et des moyens de commande (17) reliés en entrée aux moyens d'acquisition de mouvements et de positions, et en sortie aux moyens d'actionnement pour assurer leur pilotage,

caractérisé en ce que :

20 • lesdits moyens (11) d'acquisition des mouvements acquièrent aussi les volontés de mouvements et sont constitués par des moyens de mesure en fonction du temps, de l'effort provenant d'au moins un segment biologique et des moyens de détection en fonction du temps, de la direction des mouvements ou volontés de mouvements de ces segments,

25 • lesdits moyens de commande (17) comportent :
 * des paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités, et des paramètres propres à la configuration de l'exosquelette,
 * des moyens de traitement qui, en fonction desdits paramètres et des informations issues desdits moyens d'acquisition des mouvements ou volontés de mouvements, déterminent proportionnellement, des caractéristiques de vitesse, d'accélération, de décélération et d'effort pour lesdits moyens d'actionnement (19),

30 * et des moyens de pilotage permettant de commander lesdits moyens d'actionnement, selon des caractéristiques de vitesse, d'accélération, de décélération et d'effort préalablement déterminés par lesdits moyens de traitement.

2 - Système d'exosquelette selon la revendication 1 caractérisé en ce que les paramètres d'asservissement propres à la personne et à son champ d'activités comportent les caractéristiques biomécaniques et pathologiques de la personne afin de déterminer les facteurs de proportionnalité d'amplification de motricité, et éventuellement d'atténuation, voire de suppression des mouvements involontaires.

3 - Système d'exosquelette selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que les paramètres d'asservissement comportent des coefficients de limitation d'amplitude des mouvements de la personne.

4 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque articulation mécanique (8) liant deux segments mécaniques (4) ou un segment mécanique (4) par rapport à la structure de référence (3) comporte :

- des moyens de réglage de sa position par rapport à la structure de référence ou à un autre segment, afin de permettre son positionnement en correspondance de l'articulation biologique,
- pour chaque articulation mécanique (8) correspondant à une articulation biologique à l'exception de celle de l'épaule, autant de liaison pivot que l'articulation biologique comporte de degrés de liberté,
- pour l'articulation mécanique (8) correspondant à l'articulation de l'épaule, quatre degrés de liberté réalisés par deux liaisons pivot et une liaison pivot glissant radialement (31).

5 - Système d'exosquelette selon la revendication 4, caractérisé en ce que chaque liaison pivot est réalisée par un système de guidage à arbre ou par un système de guidage sans arbre.

6 - Système d'exosquelette selon les revendications 4 et 5, caractérisé en ce que chaque articulation (8) d'un segment mécanique (4) est pourvue, pour chaque degré de liberté d'une articulation biologique à au moins trois degrés de liberté, d'au moins une liaison pivot réalisée par un système de guidage sans arbre, tandis que les autres liaisons pivot sont réalisées chacune par un système de guidage à arbre.

7 - Système d'exosquelette selon la revendication 6, caractérisé en ce qu'un système de guidage sans arbre (41) est réalisé par au moins un tronçon de rail circulaire assurant le guidage d'au moins un patin mobile.

8 - Système d'exosquelette selon la revendication 4, caractérisé en ce que la liaison pivot glissant radialement (31) est composée soit de plusieurs axes de rotation

successifs permettant de restituer une trajectoire proche de celle du glissement de l'axe de rotation biologique soit d'un guide doté d'une empreinte dans laquelle l'axe de la liaison pivot décrit une trajectoire semblable à ce glissement.

5 9 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'acquisition des mouvements ou volontés de mouvements (11) comportent :

- des jauges de contraintes (12) montées en opposition sur une partie fixe (13) liée à la structure porteuse, en étant sollicitées par une partie mobile (14) reliée à un segment biologique,

- et/ou des moyens de mesure des stimuli neuromusculaires envoyés par la
10 personne à ses muscles.

10 - Système d'exosquelette selon la revendication 9, caractérisé en ce que la partie fixe (13) et la partie mobile (14) sont concentriques et constituées chacune de deux demi-coques articulées axialement entre elles pour permettre l'insertion radiale d'un segment biologique.

15 11 - Système d'exosquelette selon la revendication 10, caractérisé en ce que chaque demi-coque de la partie mobile (14) supporte une membrane adaptable (85) destinée à être en contact avec le segment biologique et à s'adapter à la morphologie dudit segment biologique.

20 12 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens d'actionnement (19) sont constitués par des muscles pneumatiques ou par des vérins linéaires pneumatiques.

13 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce que la structure porteuse (2) comporte des butées réglables de limitation de l'amplitude de déplacement des segments mécaniques articulés.

25 14 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de commande (17) comportent des moyens programmés permettant de piloter le fonctionnement de la structure porteuse exosquelettique selon des séquences déterminées.

30 15 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce que les moyens de commande (17) sont reliés à des interfaces d'entrée-sortie (27) permettant de piloter et de surveiller notamment à distance le fonctionnement dudit système d'exosquelette.

16 - Système d'exosquelette selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'au moins un segment mécanique (4) ou bien la structure de référence (3) est équipé de moyens de montage pour des structures additionnelles.

5 17 - Système d'exosquelette selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'il comporte une source d'énergie (28) alimentant les moyens de commande, d'acquisition et d'actionnement, portée par la structure porteuse exosquelettique et se présentant sous une forme stockable telle qu'une batterie ou une pile à combustible ou étant située à proximité de celle-ci pour l'alimenter par le biais d'un faisceau de raccordement ou par induction.

10 18 - Système d'exosquelette selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que la structure porteuse exosquelettique (2) assure l'assistance d'un segment biologique d'un membre, du tronc ou du bassin d'une personne.

15 19 - Assemblage exosquelettique comportant plusieurs systèmes d'exosquelettes pour des segments biologiques, conformes à l'une des revendications 1 à 18 et assemblés par leur structure de référence, sur une structure d'exosquelette de tronc et/ou de bassin afin de constituer une structure exosquelettique partielle ou complète assurant de manière partielle ou complète, le soutien et la motricité de divers segments biologiques d'une personne.

1/7

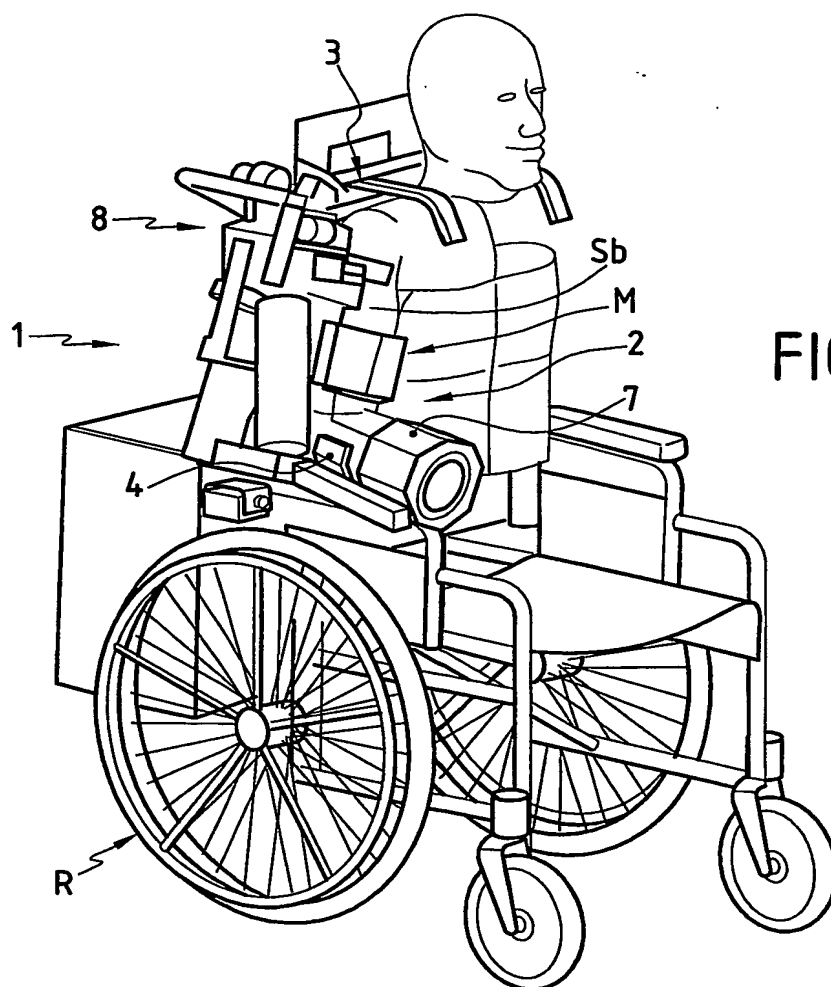


FIG. 1

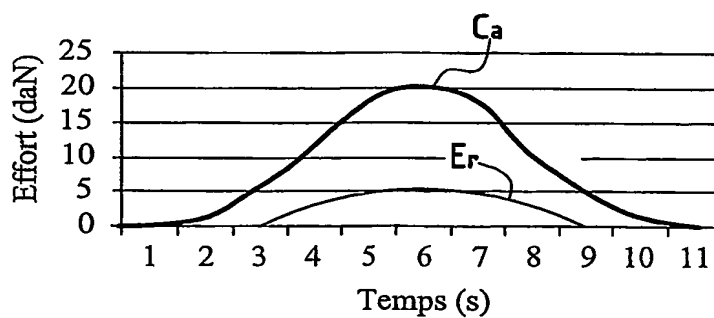


FIG. 3

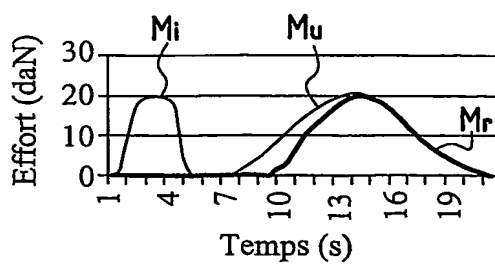


FIG. 4

2/7

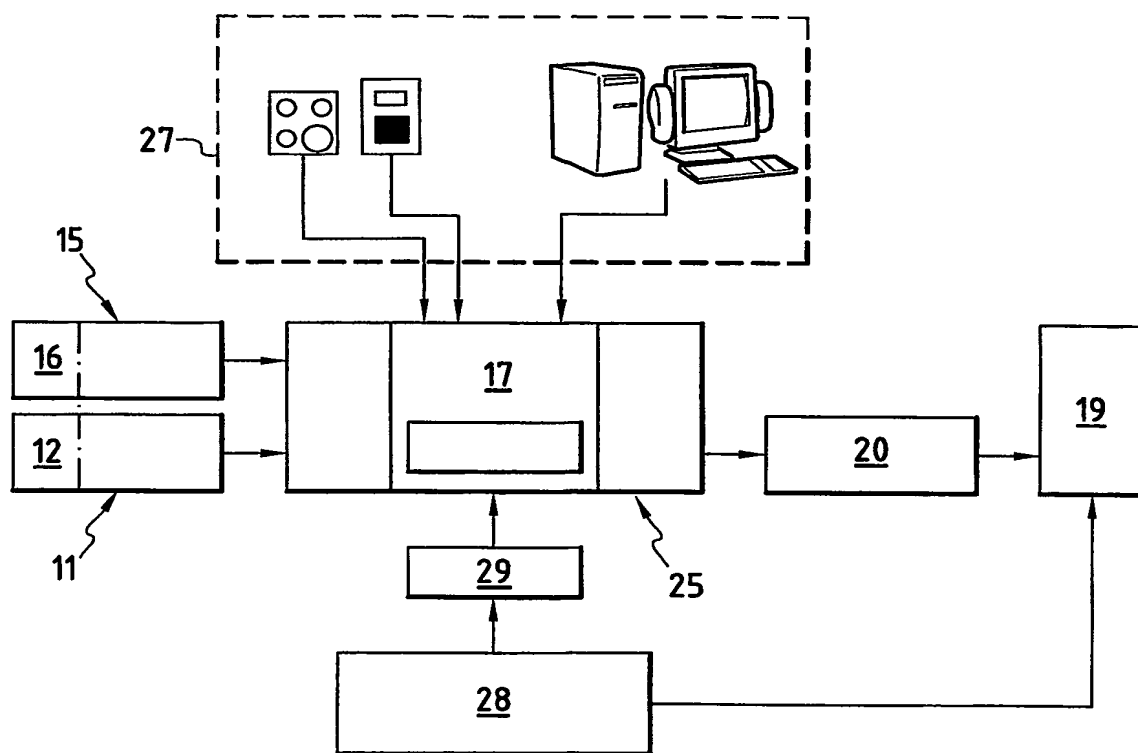


FIG.2

3/7

FIG.5

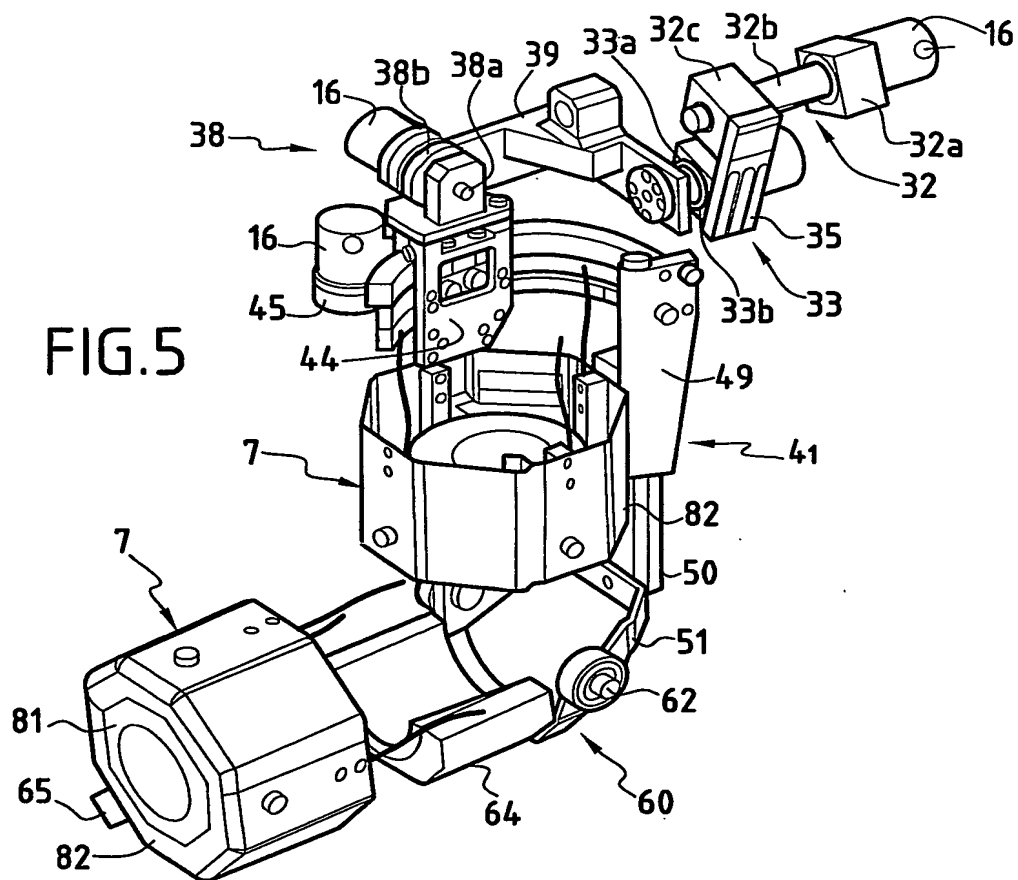
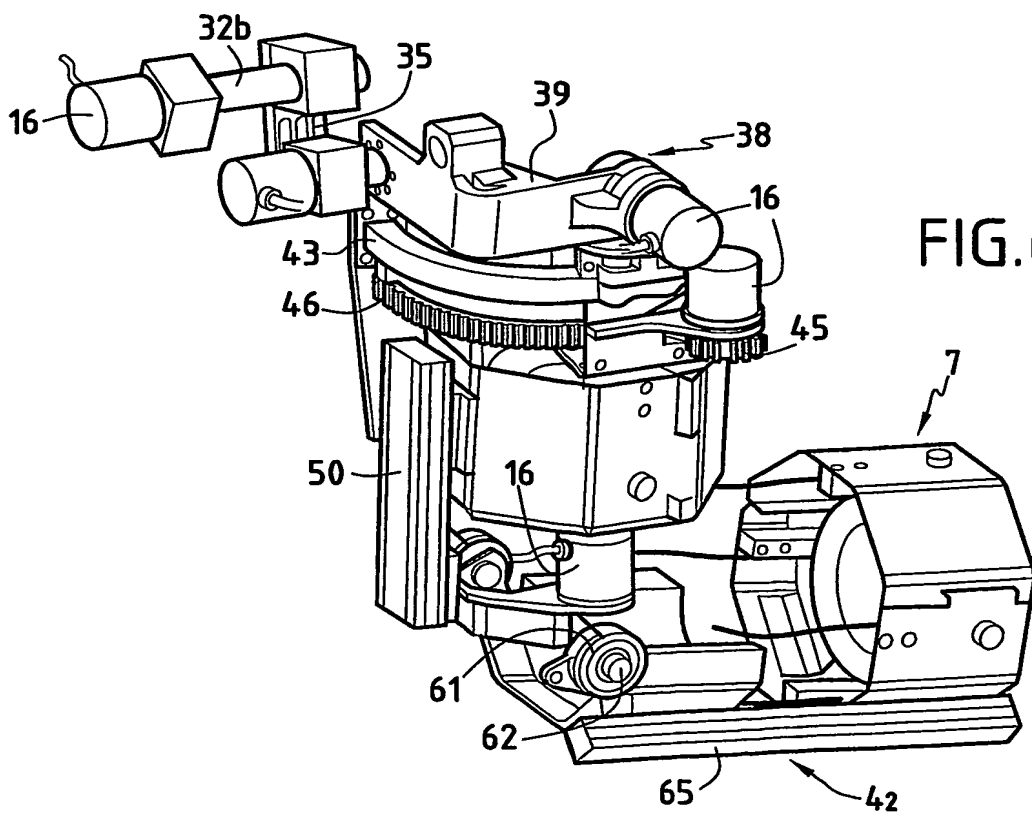


FIG.6



4/7

FIG.7A

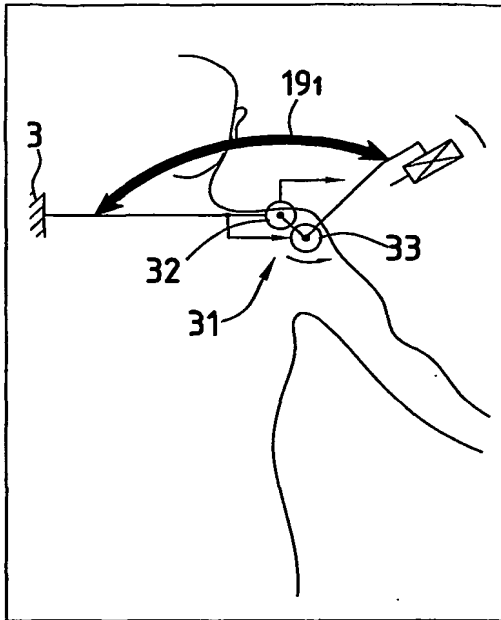


FIG.7B

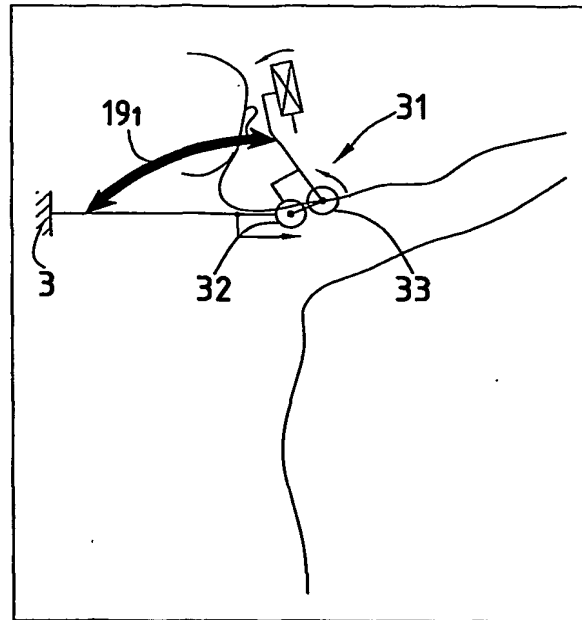


FIG.7C

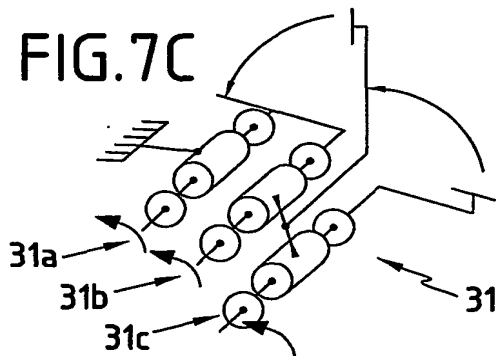


FIG.7D

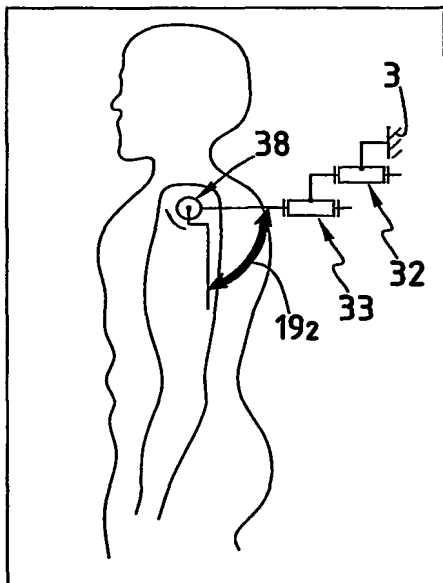
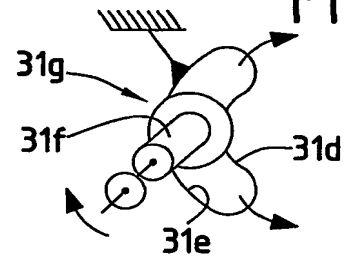


FIG.8A

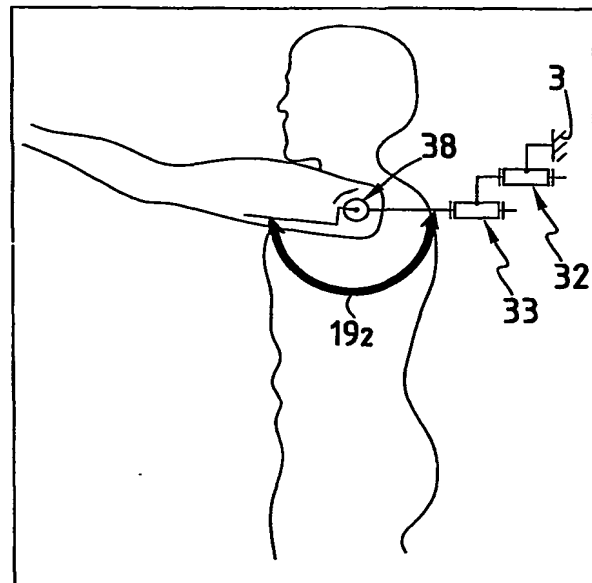


FIG.8B

5/7

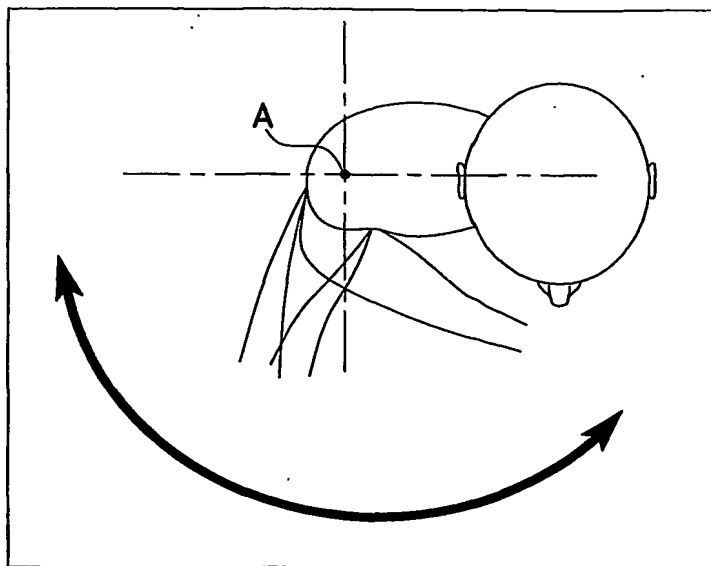


FIG. 9A

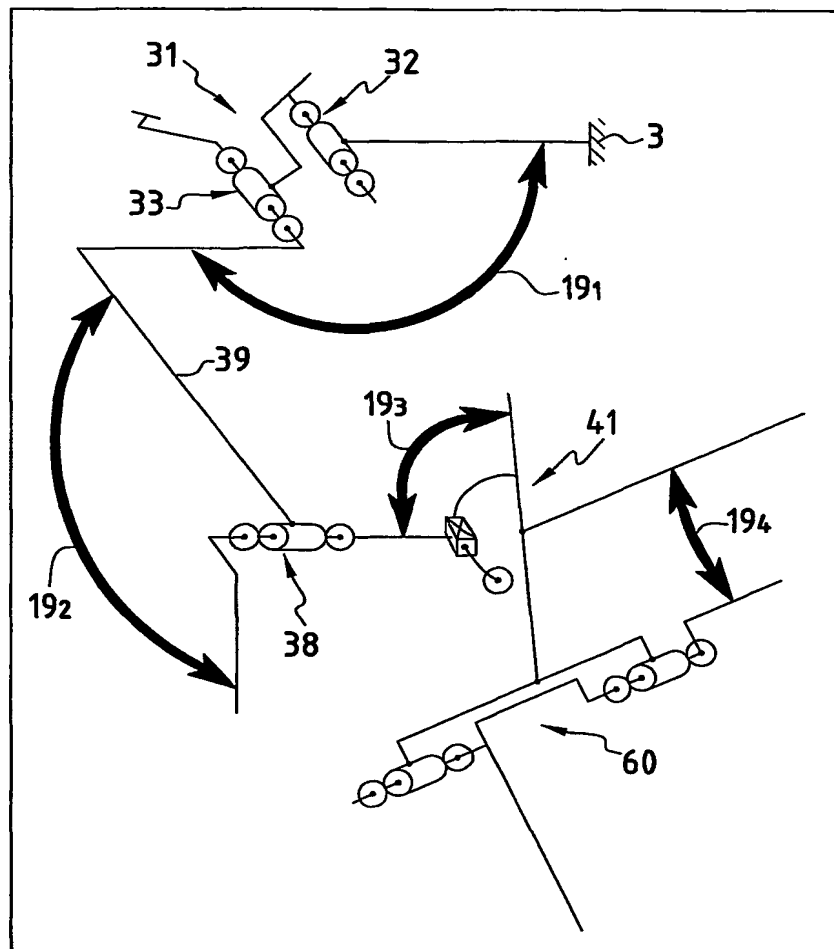


FIG. 9B

6/7

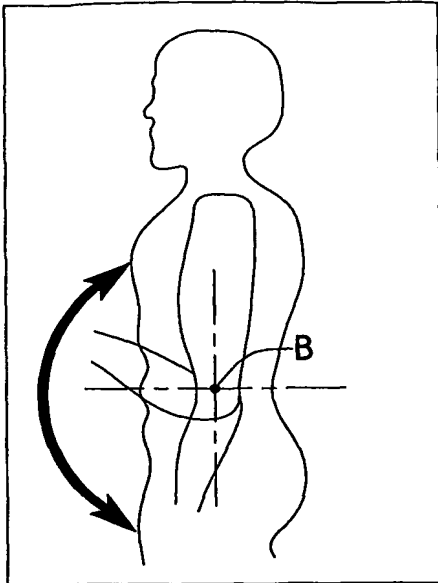
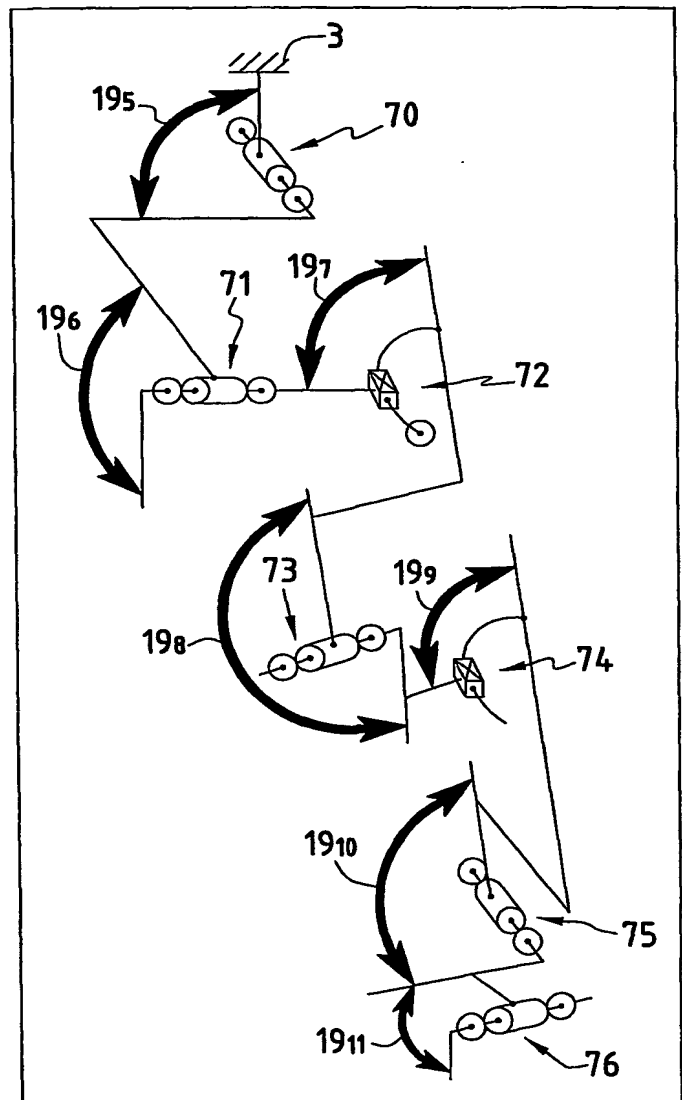


FIG. 9C

FIG. 10



7/7

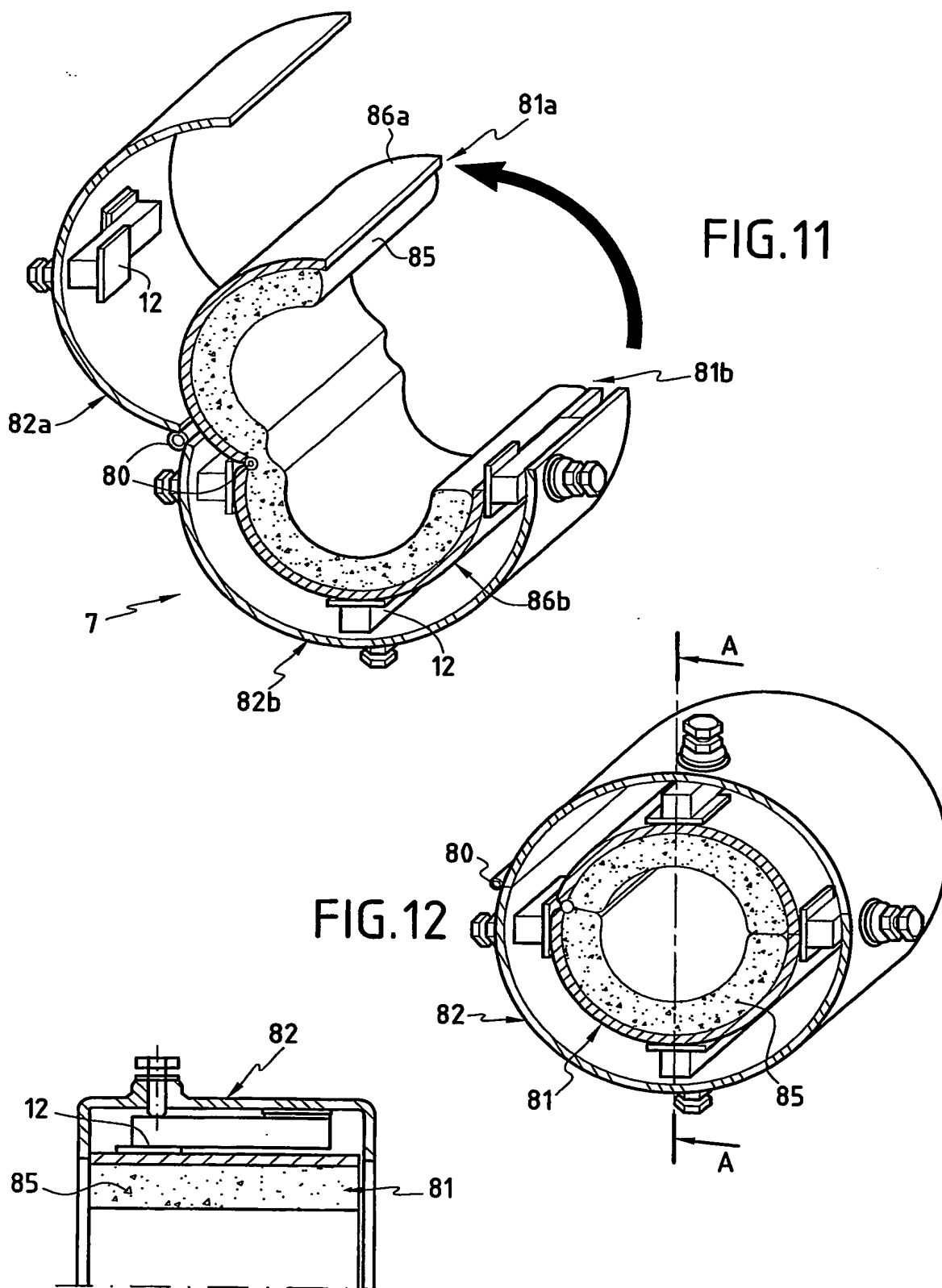


FIG.13